

C. VALERO¹, F.J. GARCÍA-RAMOS², M. RUIZ-ALTISENT¹, M.S. HOWARTH³

(1) Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación, ETSI Agrónomos, Univ. Politécnica Madrid

(2) Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior de Huesca

(3) Sinclair International Ltd, Jarrold Way, Bowthorpe, Norwich, Norfolk, UK

EVALUACIÓN DEL MEDIDOR NO DESTRUCTIVO

de firmeza Sinclair iQ: comparación con medidas estándar

Resumen

Aunque los centros de manipulación de frutas demandan sensores no destructivos de firmeza, siguen empleando en sus transacciones comerciales los valores tradicionales de las medidas de penetración Magness-Taylor. En este trabajo se han ensayado 360 melocotones de tres variedades (Ruby Rich, Rich Lady y Caterina) y se ha medido su firmeza de forma no destructiva y destructiva. Se eligió como equipo no destructivo el sistema Sinclair iQTM de sobremesa y se comparó con los métodos tradicionales destructivos, como la penetración o la compresión con bola, realizados en un texturómetro. Los resultados obtenidos muestran que las medidas realizadas con el equipo Sinclair son más repetibles, y que el "valor iQ" es capaz de clasificar los melocotones en tres clases de dureza táctil de forma más acertada (75%) que la fuerza máxima de penetración (65%).

Palabras clave: Calidad, Firmeza, Medición no-destructiva, Postcosecha.

Abstract

Evaluation of the non-destructive Sinclair iQ firmness sensor: comparison with standard measurements. Fruit industry needs non-destructive sensors to measure firmness, but still relies its marketing decisions on destructive values measured with the penetrometer Magness-Taylor test. In this work 360 peaches of three varieties (Ruby Rich, Rich Lady and Caterina) were measured non-destructively and destructively, and the results were compared. A Sinclair iQTM firmness tester in a benchtop version was selected as non-destructive equipment, while penetrometry and compression with a sphere were conducted with a texturometer. Results show that the iQTM value is less variable than parameters extracted from the destructive test, and is capable of sorting peaches into three tactile firmness categories better (75%) than the traditional measurements (65%).

Key words: Firmness, Non-destructive measurements, Postharvest, Quality.

Introducción

La evolución de la firmeza en fruta de hueso es un proceso fisiológico que depende de su maduración en árbol, del momento de cosecha, la evolución postcosecha (KADER, 2002). La firmeza de los melocotones afecta a la calidad final del producto, ya que influye en su susceptibilidad a daños mecánicos durante su manipulación (KUNZE *et al.*, 1975, BARREIRO *et al.*, 1997, MENES-ATTI *et al.*, 2002). La cada vez mayor demanda por parte del consumidor de fruta con un determinado rango de firmeza está obligando a los productores a

aplicar métodos no destructivos de medida durante el proceso de confección de pedidos en almacén. Para el mercado de consumo en fresco, el control de la firmeza durante la postcosecha es un punto crítico, ya que permite adecuar el producto a la demanda del consumidor (BRUHN, 1995), generar partidas de fruta "lista para comer" ("ready to eat") (CRISOSTO and MITCHELL, 2000), y proporciona información valiosa para el almacenamiento en cámara, la logística de transporte y la comercialización.

La medida no destructiva de la firmeza se ha venido realizando de formas diferentes

(ABBOTT, 1999; CHEN, 1996): registro de las propiedades ópticas de los frutos, medida de la respuesta a micro-deformaciones sobre la superficie, evaluación de la respuesta acústica, registro de la deceleración sufrida por una pequeña masa durante un impacto, etc. Sin embargo, a nivel comercial es el ensayo destructivo de penetración la referencia que se mantiene vigente, a pesar de sus defectos.

Desde que MOHSENIN describió la técnica de impacto para la medida de la firmeza usando un péndulo (MOHSENIN, 1970), diferentes grupos de inves-

tigación han desarrollado dispositivos de medida no destructiva basados en ella. Paul Chen fijó un acelerómetro a una pequeña semiesfera que se hacía caer verticalmente sobre el fruto desde cierta altura, y obtenía información relacionada con la firmeza (CHEN, 1985). En la tesis doctoral de Carmen Jarén se aplicó este dispositivo a peras y manzanas, y se calcularon distintos parámetros texturales útiles para clasificar la fruta (JARÉN *et al.*, 1992). Posteriormente CHEN y TJAN desarrollaron un dispositivo nuevo de impacto pensado para su uso en laboratorio o en línea, que disponía de un brazo giratorio con el acelerómetro y la cabeza impactante semiesférica en su extremo (CHEN *et al.* 1996; CHEN and TJAN, 1998). Ortiz-Cañavate perfeccionó el impactador para líneas de clasificación y optimizó la velocidad de medida (ORTIZ-CANAVATE *et al.*, 2000). Peleg también ha desarrollado un sensor similar de impacto basado en vibración (PELEG, 1993).

Desde el punto de vista de la industria, diversas empresas han desarrollado equipos comerciales para medida de firmeza en línea o en laboratorio. Aweta comercializa el "AFS" (Acoustic Firmness Sensor) como equipo de laboratorio (AWETA, 2004). Se basa en la detección del modo de vibración de una onda acústica, cuando atraviesa la fruta. Los desarrollos iniciales se fundamentaron en el trabajo de De Baerdemaeker y colaboradores (DE BELIE *et al.*, 2000). El "iFD" (Intelligent Firmness Detector, comercializado por GREEFA) está equipado con una gran rueda de sensores que rota sobre la línea de clasificación, a la vez que va impactado cada fruto.

Sinclair International Ltd. desarrolló el medidor "iQ™ firmness tester" (HOWARTH *et al.*, 2002), tanto en la versión de laboratorio como para líneas de clasificación. En este trabajo se ha empleado la versión de laboratorio. Mediante pequeños impactos sobre la superficie del fruto, este dispositivo calcula el índice iQ™, que es proporcional a la firmeza de la fruta. Sin embargo, el hecho de que

los usuarios potenciales (cooperativas, centros de envasado, control de calidad...) todavía empleen como referencia el ensayo de penetración con punzón Magness—Taylor hace que todos los nuevos instrumentos de medida tengan que ser "traducidos" artificialmente a unidades de penetración (Newtons o "kilos"). El objetivo de este trabajo es comparar el sistema Sinclair iQ™ con medidas estándar de referencia, en melocotones.

Materiales y métodos

Se han empleado tres variedades de melocotón en este estudio (Ruby Rich, Rich Lady y Caterina) a lo largo de tres semanas de ensayo. Los frutos fueron cosechados a mano en fincas de Murcia, en su óptimo comercial de cosecha. Cada semana se escogieron 120 melocotones de una variedad. De ellos, 60 frutos se almacenaron a 10°C y otros 60 a 20°C, con objeto de conseguir una evolución postcosecha diferencial y ampliar el rango de firmeza final. Cada día a lo largo de la semana, se extrajeron 10 frutos de cada temperatura de almacenamiento y se midió su firmeza no destructiva y destructivamente. Se marcaron tres posiciones alrededor del ecuador de cada fruto con objeto de realizar repeticiones de las medidas.

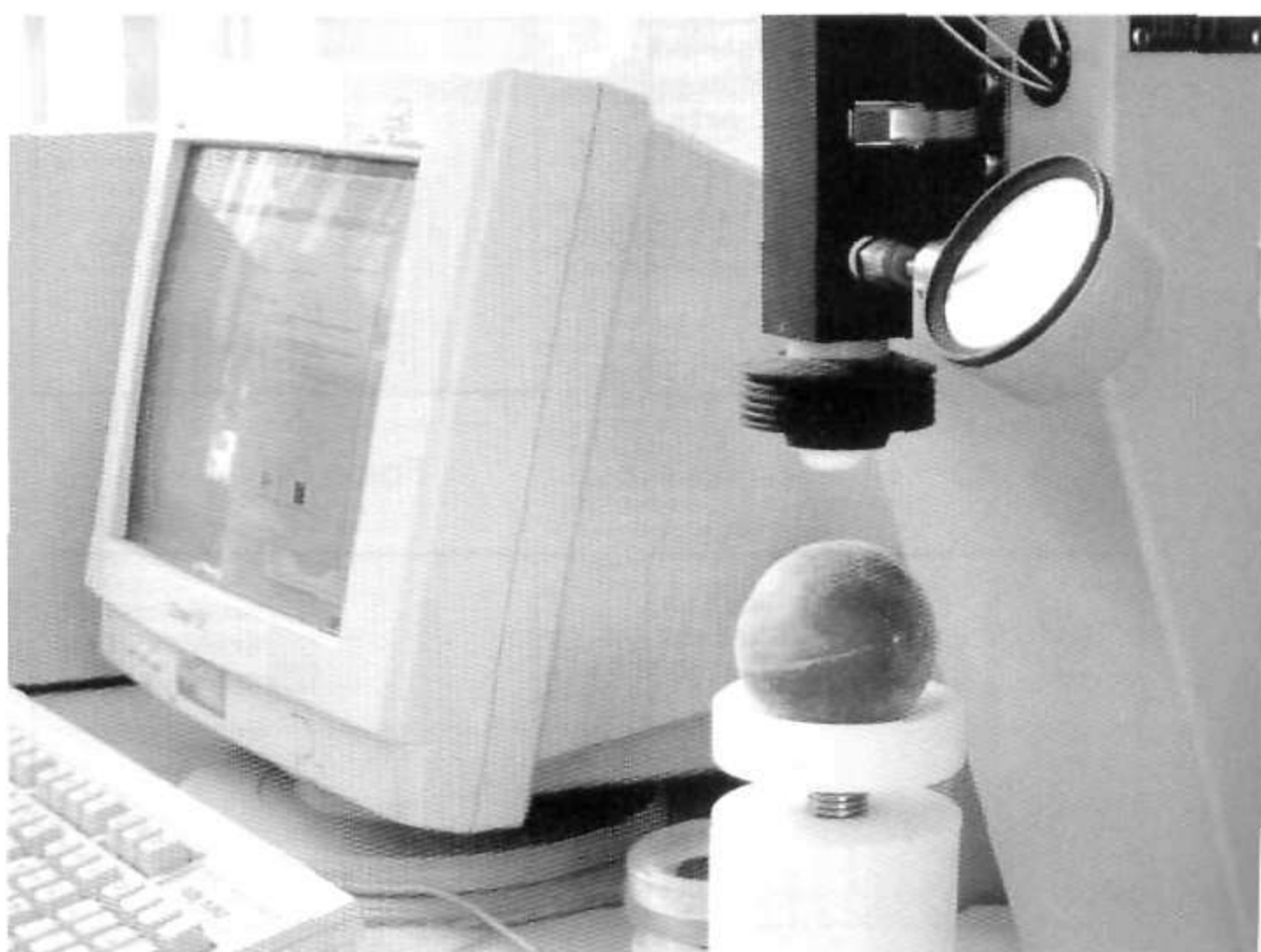
Ensayos no-destructivos de firmeza

Se empleó el sistema Sinclair iQ™ en su versión de laboratorio, antes de realizar las medidas destructivas. Se tomaron tres repeticiones por fruto. La distancia desde el fuelle de goma que contiene el sensor de impacto y la superficie del fruto se reguló siempre a 25 mm, siguiendo las indicaciones de uso del fabricante. La succión de la bomba de aspiración que hace subir y bajar el fuelle impactante se reguló a -8 pulgadas de H₂O (+8 en la fase de impulsión), utilizando las válvulas y manómetro proporcionados. El valor iQ™ obtenido tras la medida puede variar desde 0 hasta 100, siendo mayor para frutos más firmes.

Ensayos destructivos de firmeza

Para poder comparar el sistema iQ con los métodos tradicionales de medida de firmeza se ensayaron los frutos en un texturómetro de laboratorio, en el que se llevaron a cabo dos tipos de medidas:

Compresión con esfera (CS): empujando un texturómetro TA.XT2 (Sta-



1. Vista general del sistema Sinclair iQ de laboratorio. Actualmente está disponible una versión mejorada, en la que el receptáculo de la fruta gira para poder realizar automáticamente medidas a su alrededor.

ble Micro Systems Ltd.), se aplicó una semiesfera de 1,8 mm de diámetro sobre la piel del fruto, a una velocidad de compresión de 20 mm/min, hasta que se registró una deformación de 2 mm; en ese momento se invirtió el movimiento del brazo compresor. Se realizaron tres medidas alrededor del ecuador del fruto, exactamente en los mismos puntos donde se había medido con el Sinclair. Sobre la curva de fuerza / deformación se calcularon varios parámetros: fuerza máxima registrada (Force CS; N), energía absorbida durante el ciclo carga/descarga (Area CS; N·mm), y el grado de elasticidad (deformación recuperada por el fruto, dividido por la deformación total, Elast CS; %). Todos estos parámetros se pueden relacionar con la percepción de los consumidores

Penetración Magness-Taylor (MT): usando también el texturómetro, se hicieron punciones en tres puntos de cada fruto, tras retirar localmente la piel. El punzón usado tenía un diámetro de 8 mm y extremo redondeado. La compresión se realizó a velocidad constante (20 mm/min) hasta una pro-

CUADRO 1. Rangos de firmeza expresados como valor iQ^{TM} , máxima fuerza en el ensayo de compresión con esfera (CS), grado de elasticidad, área (energía) bajo la curva, fuerza máxima Magness-Taylor (MT) en la penetromía y pendiente de su curva

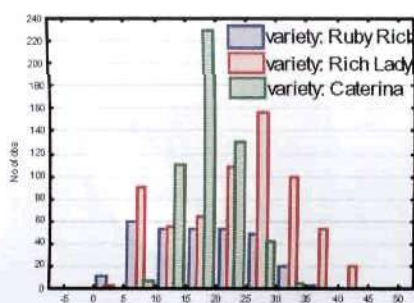
	N	Media	Mínimo	Máximo	Varianza	Desv.tip.	Coef. variación
Ruby Rich							
iQ^{TM}	300	18.04	4.00	37.00	68.19	8.26	0.46
Force CS (N)	297	6.23	0.02	21.90	20.39	4.52	0.73
Elast CS (%)	297	0.48	0.00	0.78	0.01	0.11	0.22
Area CS (N·mm)	297	5.54	0.00	18.05	12.21	3.49	0.63
Slope MT (N/mm)	296	2.56	0.33	13.92	11.88	3.45	1.35
Force MT (N)	297	7.17	0.58	51.83	146.61	12.11	1.69
Rich Lady							
iQ^{TM}	654	23.94	4.00	45.00	93.08	9.65	0.40
Force CS (N)	653	11.14	0.35	29.45	64.32	8.02	0.72
Elast CS (%)	651	0.53	0.00	0.72	0.02	0.13	0.25
Area CS (N·mm)	652	9.54	0.00	23.93	41.31	6.43	0.67
Slope MT (N/mm)	651	5.58	0.19	18.80	23.80	4.88	0.87
Force MT (N)	652	13.82	0.10	49.20	178.73	13.37	0.97
Caterina							
iQ^{TM}	521	18.93	8.00	33.00	19.09	4.37	0.23
Force CS (N)	514	7.50	0.01	17.16	7.49	2.74	0.36
Elast CS (%)	514	0.60	0.00	0.74	0.00	0.06	0.10
Area CS (N·mm)	514	6.47	0.00	13.91	5.25	2.29	0.35
Slope MT (N/mm)	516	4.78	0.92	37.65	23.68	4.87	1.02
Force MT (N)	516	12.81	1.33	36.46	66.02	8.13	0.63

fundidad de 8 mm. De la curva fuerza / deformación se calculó: la deformación máxima (Force MT; N), y la pendiente fuerza partido por deformación en el primer tramo de la curva (Slope MT; N/mm).

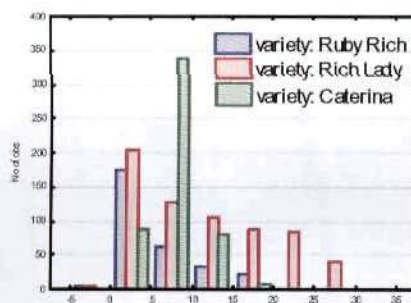
Resultados y discusión

Considerando las medidas de todos los melocotones (3 variedades y ambas temperaturas de almacenamiento) conjuntamente, los rangos de firmeza obtenidos

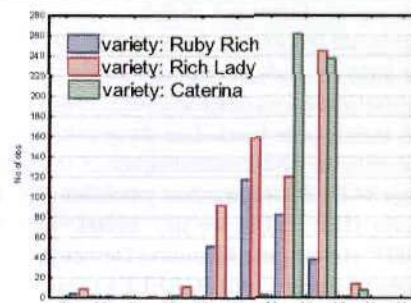
Histogramas del valor iQ^{TM} , variables del ensayo de penetrometría Magness-Taylor (MT) y variables del ensayo de compresión con esfera (CS)



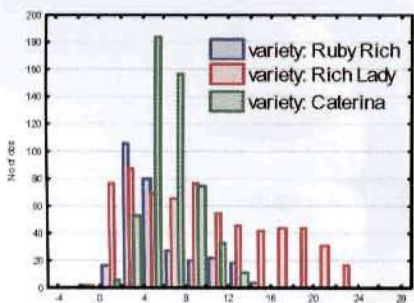
iQ^{TM} (-)



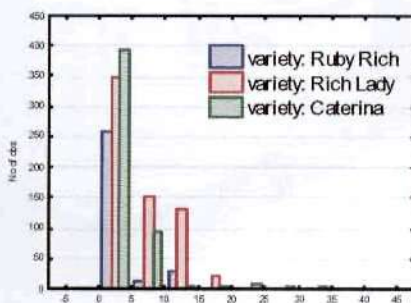
Force CS (N)



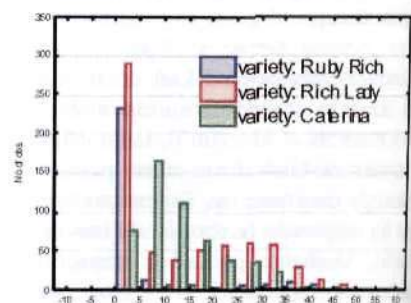
Elast CS (%)



Area CS (N·mm)



Slope MT (N/mm)



Force MT (N)

fueron amplios, como se muestra en el Cuadro 1. En términos de fuerza de penetración, la fuerza máxima Magness-Taylor alcanzó 51,8 N para los melocotones más firmes, mientras que bajó hasta casi 0 N para los más blandos.

Sin embargo, la distribución de firmezas a lo largo de dicho rango no fue homogénea, en el caso de variables extraídas de los ensayos destructivos. El valor medio de todas las variables está desplazado respecto al máximo-mínimo, sus respectivos histogramas se desvían de la normal (Gráfico 1). Esto indica que los tratamientos de conservación a 10 y 20 °C produjeron frutos demasiado blandos, en general. No ocurre lo mismo con lo el valor iQ, que muestra una distribución centrada, muy cercana a una normal.

Respecto a la variabilidad de las medidas, el coeficiente de variación (CV= desviación típica/media) y la varianza resultaron más bajos para el sistema Sinclair iQTM que para cualquiera de las otras variables de los ensayos destructivos de referencia. Por tanto, en principio, la repetibilidad de las medidas realizadas con el equipo Sinclair es mejor que con los métodos tradicionales de medida, como la penetración o la compresión con esfera.

La matriz de correlaciones de todas las variables muestra la relación lineal entre los ensayos realizados (Cuadro 2). Aunque las dos fuerzas máximas registradas con los ensayos destructivos (Force CS en la compresión con esfera, y Force MT en el Magness-Taylor) están bastante correlacionadas ($r=0.80$), estos dos

CUADRO 2. Correlaciones (r) entre el valor iQTM, las variables Magness-Taylor (MT) y las del ensayo de compresión con esfera (CS). Todas las correlaciones fueron significativas ($p<0.05$)

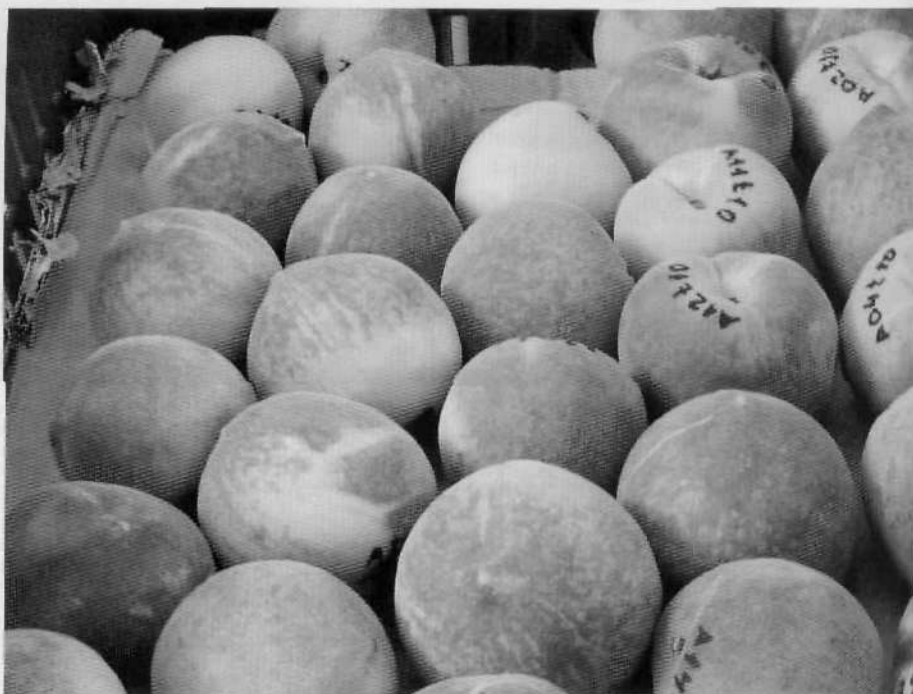
	iQ TM	Force CS	Elast CS	Area CS	Slope MT	Force MT
iQ TM	1	0.82	0.40	0.83	0.62	0.67
Force CS		1	0.62	0.99	0.75	0.80
Elast CS			1	0.60	0.51	0.57
Area CS				1	0.72	0.77
Slope MT					1	0.81
Force MT						1

métodos de medida difieren cuando se comparan otras variables.

El valor iQTM presenta poca correlación con el penetrómetro ($r=0.67$), pero mejor correlación con el ensayo de compresión con esfera, especialmente con variables como el Area CS ($r=0.83$), lo cual indica que el equipo Sinclair realiza una medida más relacionada con la energía durante el impacto, que con el comportamiento vis-

coelástico de los tejidos durante un ensayo Magness-Taylor de penetración.

Dado que la industria de envasado y clasificación de frutos debe responder a la demanda del consumidor, que compra fruta con determinada firmeza, en este trabajo se pretendió investigar si el equipo Sinclair puede discriminar frutos según su



2. Melocotones ensayados durante los experimentos, procedentes de Murcia (CEBAS-CSIC).

CUADRO 3. Matriz de clasificación para la discriminación en tres niveles de dureza táctil "blandos" (si el valor de Area CS<4), "medios" (4<Area CS<10) y "duros" (Area CS>10) usando el valor iQTM como variable explicativa

usando el valor Sinclair iQ TM como variable explicativa		predichos			
	% correcto	blandos	medios	duros	
observados blandos	68%	232	104	6	
medios	84%	55	630	68	
duros	65%	6	125	238	
Total	75%	293	859	312	

CUADRO 4. Matriz de clasificación para la discriminación en tres niveles de dureza táctil "blandos" (si el valor de Area CS<4), "medios" (4<Area CS<10) y "duros" (Area CS>10) usando Magness-Taylor como variable explicativa

usando la fuerza Magness-Taylor como variable explicativa		predichos			
	% correcto	blandos	medios	duros	
observados blandos	0%	0	334	6	
medios	89%	0	662	84	
duros	69%	0	114	254	
Total	62%	0	1110	344	

CUADRO 5. Matriz de clasificación para la discriminación en tres niveles de dureza táctil "blandos" (si el valor de Area CS<6), "medios" (6<Area CS<13) y "duros" (Area CS>13) usando el valor iQ™ como variable explicativa

	usando el valor Sinclair iQ™ como variable explicativa	% correcto	predichos		
			blandos	medios	duros
observados	blandos	67%	342	37	130
	medios	60%	84	130	0
	duros	81%	135	4	601
	Total	73%	561	171	731

CUADRO 6. Matriz de clasificación para la discriminación en tres niveles de dureza táctil "blandos" (si el valor de Area CS<6), "medios" (6<Area CS<13) y "duros" (Area CS>13) usando Magness-Taylor como variable explicativa

	usando la fuerza Magness-Taylor como variable explicativa	% correcto	predichos		
			blandos	medios	duros
observados	blandos	34%	173	92	240
	medios	60%	75	129	9
	duros	90%	65	7	663
	Total	66%	313	228	912

dureza táctil en el momento de la compra.

Por ello se seleccionó la variable Area CS del ensayo destructivo de compresión con esfera como indicativa del estado de dureza táctil, ya que la dinámica de este ensayo es similar a la presión que el comprador ejerce con su dedo pulgar sobre el fruto al seleccionarlo, y la variable da información sobre la energía necesaria para comprimir la superficie del fruto 2mm. Así, la base de datos de melocotones se pre-clasificó en "blandos" (si el valor de Area CS<4), "medios" (4<Area CS<10) y "duros" (Area CS>10) atendiendo a la firmeza medida destructivamente. Después se probó la capacidad de la variable "valor iQ" para reproducir dicha clasificación. Igualmente, se intentó reproducir la misma pre-clasificación empleando el ensayo de penetración, a través de la variable "fuerza máxima". Con ello se pretendía evaluar cuál de los dos procedimientos es más adecuado para es-

timar la dureza percibida por los consumidores.

Mediante la técnica de análisis discriminante, empleando el valor iQ™ como variable explicativa se obtuvo un resultado de 75% de frutos bien clasificados (Cuadro 3) en tres categorías de dureza táctil. El análisis paralelo empleando la penetrometría (Force MT como explicativa) generó sólo un 62% de frutos bien clasificados (Cuadro 4). Esto puede indicar que el ensayo tradicional Magness-Taylor no es el más adecuado para estimar la firmeza de consumo, estando más cerca de las expectativas del consumidor los valores proporcionados por el equipo Sinclair. Adicionalmente, si se observa el Cuadro 4 se aprecia que la penetrometría falló completamente al clasificar de forma errónea todos los 340 frutos de dureza táctil "blanda", que quedaron clasificados finalmente como "medios" (334) o incluso "duros" (6).

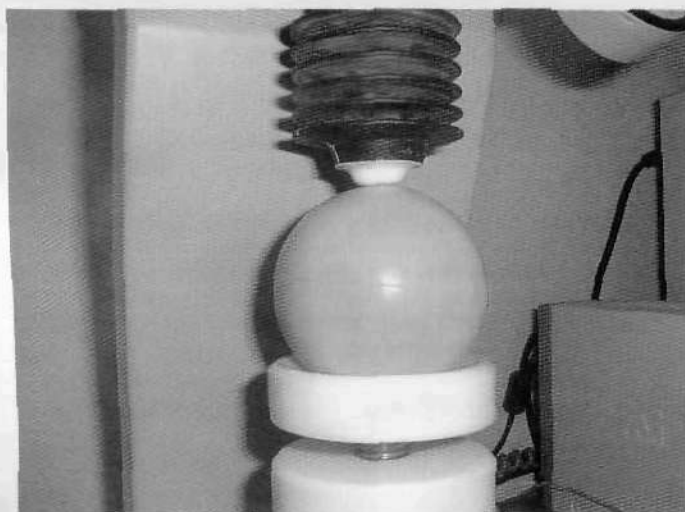
Como el valor frontera elegido para hacer la clasificación (4<Area CS<10) puede influir en su resultado final, se decidió

repetir los análisis discriminantes partiendo de otros valores diferentes para definir los tres grupos de firmeza táctil. Así, empleando los valores 6 y 13 N·mm, se definieron nuevamente: melocotones "blandos" (Area CS<6), "medios" (6<Area CS<13) y "duros" (Area CS>13). Repitiendo el proceso anterior, el valor iQ proporcionado por el equipo Sinclair fue capaz de reproducir esta nueva clasificación en un 73% de los frutos (Cuadro 5), mientras que la fuerza Magness-Taylor mostró un peor comportamiento de nuevo.

Se realizaron análisis similares, de forma independiente para cada variedad (no se muestran), y los resultados fueron análogos, especialmente en el caso de melocotones Ruby Rich y Rich Lady.

Conclusiones

El sistema de comprobación de firmeza de forma no destructiva Sinclair iQ™ ha mostrado correlación



3. Modo de operación de cabeza impactante: el fuelle de goma, que aloja el sensor en su extremo, es extendido y retraído por la presión/succión de aire.



4. Detalle de la cabeza impactante con el sensor en su extremo.

con los ensayos tradicionales destructivos de referencia, como la penetromía y la compresión con esfera. Los valores mayores de correlación se han obtenido entre el valor iQ^{TM} y las variables "fuerza máxima" y "área bajo la curva" del ensayo de compresión con esfera. Este hecho indica que la medida del sistema Sinclair iQ^{TM} está más relacionada con la firmeza táctil que con la lectura del penetrómetro.

Por otro lado se demuestra que el sistema Sinclair iQ^{TM} produce medidas menos variables y más repetibles que los ensayos destructivos. Es de todos conocido que aunque el ensayo Magness-Taylor de penetración ha venido siendo una medida de referencia para la firmeza de la fruta desde hace años, su precisión es muy baja y depende mucho de la destreza del operario que realiza el ensayo.

El número de medidas realizadas (tres) por fruto parece suficiente para obtener valores repetibles, si bien un mayor número de puntos de impacto mejorarían la medida. De

hecho, la versión comercial que Sinclair ha desarrollado para medida no destructiva de firmeza en línea da cuatro impactos alrededor del ecuador del fruto.

La clasificación de los frutos en tres categorías de firmeza táctil fue mejor resuelta por el equipo Sinclair iQ^{TM} que por la fuerza máxima de penetración registrada en el ensayo tradicional Magness-Taylor.

Todo ello hace pensar que, si bien el equipo Sinclair iQ^{TM} y el ensayo de penetración pueden estar midiendo diferentes propiedades texturales de la fruta, puede ser ventajoso para la industria empezar a usar instrumentos de medida no destructiva de la firmeza como el Sinclair iQ^{TM} por sí solos. No tiene sentido seguir intentando comparar las nuevas técnicas de medida con los antiguos métodos, ya que pueden no ser comparables, e incluso ser mucho menos repetibles.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Comunidad Autónoma de Madrid el apoyo financiero aportado para hacer posible este trabajo. También nos gustaría agradecer al Centro de Edafología y Biología Aplicadas del Segura la selección y suministro del material vegetal. Igualmente, agradecer al personal de Sinclair Systems International, LLC por su colaboración y apoyo.

Bibliografía

ABBOTT J. A., Quality measurement of fruits and vegetables, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 15, Issue 3, March 1999, Pages 207-225.
 AWETA. 2004. Web page, [accessed 11 Jan. 2004]. Available at <http://www.aweta.nl/>.
 BARREIRO P., V. STEINMETZ and M. RUIZ-ALTISENT. Neural bruise prediction models for fruit handling and machinery evaluation *Computers and Electronics in Agriculture* Volume 18, Issues 2-3, August 1997, Pages 91-103.
 BRUHN, C.M., 1995. Consumer and retail satisfaction with the quality and size of California peach and nectarines. *J. Food Qual.* 18, pp. 241-256.
 CHEN, P., 1996 Quality evaluation technology for agricultural products, *Proc. Int Conf on Agric. Machinery Engineering*, Nov12-15, 1996, Seoul Korea. Vol 1:171-204
 CHEN, P. 1985. Instrument for Testing the Response of Fruits to Impact. *ASAE*.

85-3537.
 CHEN, P., M. RUIZ-ALTISENT, and P. BARREIRO. 1996c. Effect of impacting mass on firmness sensing of fruits. *Transactions of the ASAE* 39, no. 3: 1019-23.
 CHEN, P., and Y. TJAN. 1998. A Real-time Impact Sensing System for Online Firmness Sensing. In *Proc. of AgEng Conference Oslo 98*. Paper 98-F-006 Oslo.
 CRISOSTO, CARLOS H. and F. GORDON MITCHELL. 2000. Postharvest handling systems: stone fruits. I. Peach, nectarine and plum. Chapter 28, In: A.A. Kader (ed), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Third Edition, DANR Publication #3311.
 DE BELIE N., S. SCHOTTE, P. COUCKE and J. De BAERDEMAEKER. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 18, Issue 1, January 2000, Pages 1-8.
 GREEFA. 2004 Web page, Available in <http://www.greefa.nl> [Accessed January 2004].
 HOWARTH, M.S., 2002. Sinclair iQ^{TM} firmness tester. Paper 02-IE-006, *AgEng 02*, Budapest, p. 8.
 KADER A.A. (ed), 2002. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Third Edition, DANR Publication #3311. Davis (California) USA.
 KUNZE O R, W H ALDRED and B D REEDER. Bruising characteristics of peaches related to mechanical harvesting. *Transactions of the ASAE* 18 (1975), pp. 939-945.
 MENESATTI P., G. PAGLIA, S. SOLAINI, A. ZANELLA, R. STAINER, C. COSTA and M. CECCHETTI. Nonlinear Multiple Regression Models to estimate the Drop Damage Index of Fruit, *Biosystems Engineering*, Volume 83, Issue 3, November 2002. Pages 319-326.
 MOHSENIN, N. N. 1970. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers. U.S.A. 734 p.
 ORTIZ-CAÑAVATE, J., F. J. GARCÍA-RAMOS, M. RUIZ-ALTISENT, J. DIEZ, L. FLORES, I. HOMER, and J. M. CHÁVEZ. 2000. Lateral Impact Sensor for Measuring Firmness of Fruits in an Experimental Packing Line. *CIGR World Congress 2000*.
 PELEG, K. 1993. Comparison of Nondestructive Measurement of Apple Firmness. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55, no. 3: 227-238p.
 SHMULEVICH, I., N. GALILI and M. S. HOWARTH. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Bio. and Tech.* 29 (2003) 287-299.